

九州工業大学学術機関リポジトリ



Title	Investigation of Mechanical Characteristics of Human Atheromatous Plaques Based on Histology and Medical Images
Author(s)	Esmaeili Monir, Hamed
Issue Date	2016-03-25
URL	http://hdl.handle.net/10228/5661
Rights	

氏名・(本籍)	Hamed Esmaeili Monir (イラン)
学位の種類	博 士 (工 学)
学位記番号	生工博甲第248号
学位授与の日付	平成28年3月25日
学位授与の条件	学位規則第4条第1項該当
学位論文題目	Investigation of Mechanical Characteristics of Human Atheromatous Plaques Based on Histology and Medical Images (組織学的情報と医用画像に基づく動脈硬化病変部の力学特性 の解明に関する研究)
論文審査委員会	委員長 教 授 西田 治男
	〃 内藤 正路
	〃 石黒 博
	〃 春山 哲也
	〃 平木場浩二

学 位 論 文 内 容 の 要 旨

本論文は、力学的観点から粥状動脈硬化病変の理解を深めることを目的とし、高齢者の生理的变化としての内膜肥厚や病変としての粥状動脈硬化の発達（石灰化、破裂等）に着目して、有限要素解析や伸展試験などを通して動脈固有の組織や病変部の力学特性を調べ、加齢や病変における種々の因子の影響を明らかにしており、次の5章からなる。

第1章は緒言で、本研究の背景と目的および各章の概要について述べている。

第2章では、高齢者の生理的内膜肥厚の生じた総頸動脈に着目して、分離した3層の無応力状態での幾何学的形状と非線形な変形特性を用いて有限要素モデルの作成と解析を行っている。動脈壁は内膜、中膜、外膜の3層からなり、このうち、高齢者の内膜には加齢に伴う生理的肥厚が見られる。本研究で環状の動脈壁を3層に分離した結果、最内層は内膜と中膜の一部からなり、残りは中膜と外膜の2層に分かれている。内膜、中膜、外膜の応力-ひずみ関係は、各層の単軸引張り試験と最内層の染色画像に基づく内膜と中膜の厚さ比から同定している。有限要素解析では、接触問題を解くことによって、各層の応力解放形状から分離前の除荷形状を得ている。さらに、管軸方向の一定伸びと内圧を負荷して動脈壁内の応力・ひずみ状態を得ている。本解析結果は、最内層の応力解放形状における内腔面の曲率の位置による違いが、生理的負荷下での内膜の応力状態に大きな影響を与えることを示しており、リモデリングによる動脈組織の変化の重要性を示唆している。

第3章では、プラークに形成された石灰化領域とプラークの内腔面に存在する線維性被膜の変形挙動との関係を調べている。本章の研究ではプラークを含む胸大動脈壁を対象とし、画像相関法により単軸伸展条件下で内腔面の変位・ひずみ分布を解析し、マイクロX線CT像や脱灰した組織の染色像と比較している。試験対象は正常（プラークなし）、石灰化のないプラーク、脂質の一部が石灰化したプラーク、線維性被膜の一部が石灰化したプラークの4つに分類され、線維性被膜に生じた最小のひずみを調べたところ、内腔面から離れた脂質コアの一部に石灰化が見られたケースでは、石灰化のないプラークのケースと同程度のひずみが生じ、線維性被膜の一部が石灰化したケースでは、ひずみが顕著に低下して零となる場所が生じている。本結果は、プラークが石灰化した場合の画像診断の一助となる。

第4章では、頸動脈分岐部付近でプラークが破裂してプラーク内出血が認められる症例を取り上げ、血液で満たされた脂質内の圧力の上昇が線維性被膜の形態的变化を引き起こすことを有限要素解析によって示し、未破裂のプラークの形態と比較している。内膜剥離術で摘出した内膜組織の横断面画像に基づいてプラーク領域の形状モデルを作成し、他の情報も参考にして分岐部のモデルを作成している。血管壁の構成式は均質で非圧縮等方の超弾性体としている。境界条件としては、乱流モデルを用いた流体解析から求めた血圧分布に一樣な収縮期圧あるいは拡張期圧を加えた血圧を血管内腔と脂質コアの表面に負荷し、また、管軸方向に一定の伸びを与えている。血管横断面の形状の解析結果によれば、本症例モデルの線維性被膜は未破裂プラークモデルの外側に凸の形状に比べて内腔面側に移動して膨らんでいる。本解析結果はプラーク内出血を伴うプラーク破裂の画像診断の一助となる。

第5章では、本研究で得られた成果が要約されている。組織染色画像の病理診断や超音波等の医用画像に基づく診断において、力学的解析に基づいた知見を加えれば病変部のより深い理解が可能となることが述べられている。

学 位 論 文 審 査 の 結 果 の 要 旨

本論文に関し、調査委員から内膜肥厚に関する研究成果の診断への利用法、石灰化のみられる画像の評価法、線維性被膜に及ぼす圧力の影響の仕方、乱流モデルを選択した理由などについて質問がなされたが、いずれも著者から満足な回答が得られた。

また、公聴会においても、多数の出席者があり、種々の質問がなされたが、いずれも著者の説明によって質問者の理解が得られた。

以上により、論文調査及び最終試験の結果に基づき、審査委員会において慎重に審査した結果、本論文が、博士（工学）の学位に十分値するものであると判断した。